

Evaluación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF en las microcuencas del Parque Nacional Río Dulce como herramienta en la gestión integral del manejo sustentable, Livingston, Izabal, Guatemala, Centroamérica



Robledo-Hernández, José Adiel

Evaluación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF en las microcuencas del Parque Nacional Río Dulce como herramienta en la gestión integral del manejo sustentable, Livingston, Izabal, Guatemala, Centroamérica

Tecnología en marcha, vol. 36, núm. 1, pp. 106-116, 2023

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=699877376014>

Evaluación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF en las microcuencas del Parque Nacional Río Dulce como herramienta en la gestión integral del manejo sustentable, Livingston, Izabal, Guatemala, Centroamérica

José Adiel Robledo-Hernández

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

jarobledoh@profesor.usac.edu.gt

 <https://orcid.org/0000-0002-5529-9826>

Recepción: 06 Junio 2022
Aprobación: 23 Septiembre 2022



Acceso abierto diamante

Resumen

El área protegida denominada Parque Nacional Río Dulce se encuentra ubicada en el nororiente del caribe de Guatemala. Es administrada por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y regido por un plan maestro. Sin embargo, afronta cada día retos, tales como a) el incremento de desarrollo inmobiliario debido a su belleza escénica, b) el incremento poblacional de las comunidades reconocidas dentro de las diversas zonas del parque y c) vertidos no regularizados de aguas residuales tipos ordinarias y especiales. Ante esta incipiente situación, se hace necesaria la evaluación de la calidad del agua de Río Dulce a través de métodos reconocidos internacionalmente; tal el caso del Índice de Calidad del Agua ICA-NSF, con la finalidad de interpretar los resultados de una manera holística y poder discutirlos en ámbitos académicos, no solo a nivel local, sino internacional. Para ello se georreferenciaron doce estaciones de muestreo en las desembocaduras de los principales tributarios a lo largo del Parque Nacional Río Dulce. Posterior a las colectas de muestras de agua y análisis en laboratorio de los parámetros: coliformes fecales, potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fósforo total, temperatura, turbidez, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto, se estimó el ICA-NSF mediante la calculadora en línea del Centro de Investigación del Agua de los Estados Unidos de América. De manera general, considerando la calidad del agua de los afluentes, el ICA-NSF varió entre 71 y 90, lo que se cualifica como una calidad buena. Los parámetros críticos en la disminución del ICA-NSF en las diversas estaciones evaluadas fueron la presencia de coliformes fecales y los sólidos totales disueltos, lo que permite generar lineamientos para el manejo sustentable del Parque Nacional Río Dulce. Se concluye que el agua del Río Dulce no es apta para el consumo humano de forma directa, necesitando de un proceso de potabilización.

Palabras clave: Calidad del agua, recursos hídricos, química del agua, conservación del agua, muestreo del agua, monitoreo del agua.

Abstract

The protected area called Río Dulce National Park is located in the northeastern Caribbean region of Guatemala. It is administered by the National Council of Protected Areas (CONAP) and governed by a master plan. However, it faces challenges every day, such as a) the increase in real estate development due to its scenic beauty, b) the population increase of the recognized communities within the various areas of the park, c) non-regularized discharges of ordinary and special wastewater. Given this incipient situation, it is necessary to evaluate the quality of the water in Río Dulce through internationally recognized methods; such is the case of the ICA-NSF Water Quality Index, with the aim of interpreting the results in a holistic manner and being able to discuss them in academic settings, not only locally, but also internationally. For this, twelve sampling stations were georeferenced at the source of the main tributaries along the Río Dulce National Park. After the collection of water samples and laboratory analysis of the parameters: fecal coliforms, hydrogen potential, biochemical oxygen demand, nitrates, total phosphorus, temperature, turbidity, total dissolved solids and dissolved oxygen, the ICA-NSF was estimated using the online calculator from the Water Research Center of the United States of America. In general, considering the quality of the water of the tributaries, the ICA-NSF varied between 71 and 90, which qualifies as good quality. The critical parameters in the decrease of the ICA-NSF in the various stations evaluated were the presence of fecal coliforms and total dissolved solids, which allows the

generation of guidelines for the sustainable management of the Río Dulce National Park. It is concluded that the water of the Río Dulce is not suitable for human consumption directly, requiring a purification process.

Keywords: Water quality, water resources, water chemistry, water conservation, water sampling, water monitoring.

Introducción

El estado de la calidad del agua superficial para usos múltiples requiere, sin precedentes, la atención de pobladores, académicos, autoridades locales y regionales. Existen reportes desde las últimas dos décadas, acerca de que el 60% de los sistemas ecológicos del mundo se están degradando y son utilizados en forma no sustentable [1]. La International Lake Environment Committee Foundation indica que el 2% del agua dulce sobre la superficie de la tierra es utilizable y 90% de esa agua se encuentra en lagos y presas [2]. Esto enmarca la situación actual de la disposición de agua a nivel mundial en estados de alarma, en cuanto a su uso racional a corto y mediano plazo. El manejo sustentable de las cuencas hidrológicas y de los microclimas que estas albergan es, sin duda alguna, un baluarte en la preservación del medio ambiente en los países subtropicales de América [3].

Respecto al caribe guatemalteco, debido a su ubicación geográfica en la región tropical del hemisferio norte y fisiografía, es una región rica en recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, sin una época seca definida. Sin embargo, estas oportunidades también generan amenazas, como la baja organización social y estatal, el uso y reúso inadecuado de las fuentes de agua, contaminación incipiente por *E. coli* y ausencia casi total de plantas de tratamiento de aguas de tipo ordinario y especial, entre otras [4].

Varios actores locales y regionales, entre ellos los académicos, unen esfuerzos en pro de un mejor futuro para las próximas generaciones, siendo los académicos a quienes corresponde forjar información confiable, de carácter científico basada en estándares internacionales, para fortalecer la toma de decisiones tendientes al uso sustentable de los recursos hídricos a nivel nacional. Río Dulce, es sin duda, uno de los patrimonios naturales que debe ser monitoreado y evaluado en lo que a su salud respecta.

Actualmente, la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Izabal y Río Dulce AMASURLI, no cuenta con estaciones de muestreo a lo largo y ancho del Río Dulce [5][6]. Por esta razón, la presente investigación se focaliza en un vacío estructural del programa de monitoreo de la Subcuenca del Lago de Izabal y Río Dulce, pues durante más de 20 años únicamente se ha monitoreado el lago, sin considerar la importancia de las funciones socio-ambientales del Río Dulce, tales como el equilibrio ecosistémico que genera el mangle y la preservación de la flora y fauna endémica del caribe guatemalteco [7].

Los índices de la calidad del agua son herramientas que permiten la toma de decisiones para reducir el deterioro de la calidad del agua al evaluar de forma directa las variaciones de sus parámetros de calidad [3]. Actualmente existen diferentes metodologías para determinar la calidad del agua, y estas poseen divergencias entre sí al determinar la calidad del agua, por lo que consideraciones profesionales son importantes al momento de interpretar la calidad del agua [8]. La metodología del ICA-NSF es utilizada para determinar la calidad del agua de ríos para consumo humano, usando pesos ponderados en sus parámetros, lo que ha permitido que sea popularizado en muchos países [9].

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación es la evaluación de la calidad del agua del Parque Nacional Río Dulce de forma anual marzo-2021 a enero-2022, utilizando los parámetros de respuesta integrados a través del método ICA-NSF: coliformes fecales, potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fósforo total, temperatura, turbidez, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto. De esta manera, los resultados de esta investigación permitirán formar equipos de trabajo en el marco de la gestión integral del manejo sustentable del Río Dulce, cuya interpretación se realizará con base a criterios internacionales.

Metodología

Establecimiento de las estaciones de muestreo:

Se constituyeron doce (12) estaciones de muestreo en los principales tributarios a lo largo del Parque Nacional Río Dulce, los que fueron georreferenciados para fines de colecta de muestras de agua y

representación gráfica. Asimismo, cada estación indica una desembocadura estratégica de las microcuencas que representan diversos usos de la tierra [10], resaltando que las estaciones de muestreo de Río Frio, Río Bonito y Río Tameja presentan en sus microcuencas más del 50% de cobertura boscosa respectivamente, según puede observarse en la Figura 1.

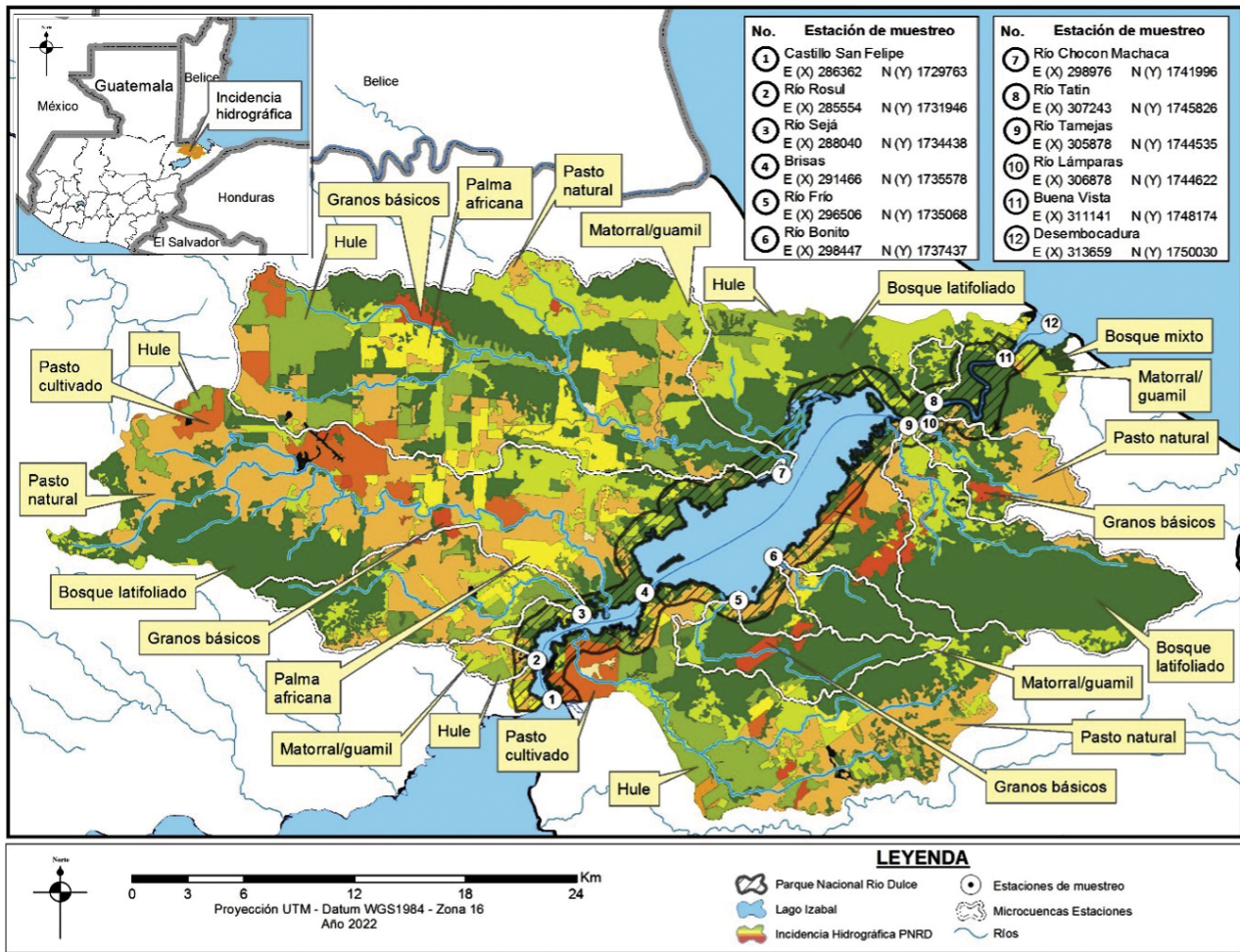


Figura 1.

Estaciones de muestreo para evaluar la calidad de agua del Parque Nacional Río Dulce.

Figura 1. Estaciones de muestreo para evaluar la calidad de agua del Parque Nacional Río Dulce.

La colecta de las muestras de agua:

Se realizó de forma sistemática en cada uno de los puntos georeferenciados para el efecto de forma bimensual de marzo 2021 a enero 2022, las muestras se colectaron a treinta (30) cm de profundidad al centro de los cauces de interés en recipientes esterilizados de un litro de capacidad. Los mismos fueron conducidos en custodia de cadena fría a menos 10°C al laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas de ANACAFE-ANALAB.

Análisis fisicoquímico y microbiológico de la calidad del agua:

Durante las expediciones, también se realizan mediciones in situ, de parámetros físicos de la calidad del agua, las cuales se sintetizan en el cuadro 1.

Cuadro 1.
Parámetros estimados in situ.

Parámetros	Procedimiento
Físicos	Turbidez (-tu) Con un beaker de 25ml se colectó una muestra de agua que se vertió en un tubo de ensayo que posteriormente se lee en un Turbidímetro Marca Hach, Modelo 2100Q.
	Temperatura (°C)
	Sólidos totales disueltos (mg/l)
	Oxígeno disuelto (mg/l)
Químicos	Potencial de hidrógeno (pH)

Las muestras trasladadas al laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas de ANACAFE-ANALAB, fueron procesadas para su análisis estimando los parámetros químicos y microbiológicos, resumiendo el proceso según se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2

Metodologías para análisis de parámetros químicos y microbiológicos de muestras de agua en laboratorio de ANALAB

Parámetros	Metodología
Químicos	Demanda Química de Oxígeno (DQO)
	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF. 22nd.ed.2012, Part 5220, 5-16. Determinación por fotometría.
	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) mg/l
	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF. 22nd.ed.2012, Part 5210, 5-04
	Amonio (NH ₄ ⁺) mg/l
	Spectroquant análogo a EPA 350.1, APHA 4500-NH ₃ F, ISO 7150-1 y DIN 38406-5
Microbiológicos	Nitratos (NO ₃) mg/l
	Spectroquant análogo a DIN 38405-9
	Nitritos (NO ₂) mg/l
	Spectroquant análogo ISO 8466-1 y DIN 38402 A51
	Fósforo total (mg/l)
	Spectroquant análogo a EPA 365.2+3, APHA 4500-P E y DIN EN ISO 6878
	Coliformes fecalesNMP UNFC
	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF. 22nd.ed.2012, Part 9221, 9-74/75
	E. coli NMP UNFC
	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF. 22nd.ed.2012, Part 9221, 9-74/75

Fuente: [11].

Evaluación del índice de calidad del agua ICA-NSF:

Se estimó el índice de calidad del agua correspondiente a cada una de las doce (12) estaciones de muestreo en forma bimensual durante el período de estudio, según la metodología del National Sanitation Foundation -NSF- de Los Estados Unidos de América, a través del sistema en línea desarrollado por Oram [12] denominado “Calculadora del Water Reserch Center”, el ICA-NSF utiliza un sistema de ponderación sobre los parámetros de estudio, cuadro 3.

Cuadro 3
Factor de ponderación de parámetros en el ICA – NSF

Parámetros	Factor de ponderación
Coliformes fecales (CF)	0.16
Potencial de hidrógeno (pH)	0.11
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	0.11
Nitratos (NO ₃ -1)	0.10
Fosfatos (PO ₄ -3)	0.10
Temperatura	0.10
Turbidez	0.08
Sólidos totales disueltos (STD)	0.07
Oxígeno disuelto (OD)	0.17

Fuente: [12]

Para la realización de los cálculos se utiliza un algoritmo de una suma lineal ponderada del efecto de las variables de respuesta y los resultados son expresados en forma numérica entera, en una escala de 0 a 100, según Cuadro 4. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos de cada una de las estaciones de muestreo se ingresaron a dicho sistema, generando un índice de calidad del agua parcial para cada parámetro y posteriormente el índice general de calidad del agua de la estación de interés, con base en el valor numérico del ICA-NSF se procedió a realizar la cualificación correspondiente.

Cuadro 4
Escala cualitativa de clasificación del ICANSF

Calidad del agua	Valor del ICA
Excelente	91 – 100
Buena	71 – 90
Media	51 – 70
Mala	26 – 50
Muy mala	0 – 25

Fuente: [13]

Resultados y discusión

Con base en los resultados de los análisis de laboratorio y posterior cálculo de los índices de calidad del agua, tanto parciales como totales, E. coli y sólidos totales disueltos (TDS) son los parámetros críticos de los incrementos decrecientes (Cuadro 5), mismos que no alteran significativamente el índice, el cual aún presentó valores entre 68 y 83, calificando de forma general el agua como de calidad buena (Cuadro 6).

Como puede observarse, el 81% de las estaciones de muestreo indicaron una calidad de agua “buena” destacándose los puntos Río Bonito y Desembocadura, los cuales mantuvieron esa categoría durante todo el período de evaluación, mientras que el 18% indicaron una calidad “media” principalmente Ríos Sejá, Río Chocón Machaca y Río Tameja que presentaron esta categoría en dos ocasiones y el 1% indicó una calidad de agua “excelente” en el punto Castillo San Felipe.

En el mes de julio del año 2021 se presentó el menor valor del ICA-NSF (68) que corresponde a una categoría de calidad media, manifiesta en las estaciones de muestreo Río Rosul, Río Sejá, Brisas, Río Frío, Río Chocón Machaca, Río Tatín y Río Lámpara. Esto se atribuyó a que la mayor cantidad de precipitación en Río Dulce ocurre durante los meses de junio y julio [14], donde los índices parciales de sólidos totales disueltos y turbidez fueron críticos. Esta presencia de sólidos totales disueltos coincide con reportes realizados en el caribe guatemalteco [15], debido a la ausencia de una época seca, bien definida, lluvias constantes y acarreo de sedimentos al Río Dulce. Cabe mencionar que los muestreos realizados en marzo-2021, mayo-2021, noviembre-2021 y enero-2022 mantuvieron una calidad constante en la mayoría de las estaciones de muestreo clasificada como “buena”.

Los resultados de esta investigación permiten generar lineamientos de manejo sustentable en el Parque Nacional Río Dulce considerando que la calidad del agua sufre impactos negativos en demérito por contaminantes fecales (*E. coli*) y sólidos totales disueltos (TDS). Esto es consecuencia de la falta de tratamiento de aguas residuales previo a su disposición final en el cuerpo de agua, irrespetando el Acuerdo Gubernativo 236-2006, sobre uso y reúso de aguas residuales [16]. Por lo tanto, el agua que fluye por el Lago de Izabal y luego al Río Dulce, no se considera apta para consumo humano, riego de productos de consumo en fresco y agua entubada [6] ya que, para estos fines debe pasar por un proceso de potabilización.

El estado actual de la salud del agua del Parque Nacional Río Dulce se califica como “buena”, lo que indica la bondad del índice respecto a los parámetros evaluados y la dinámica de estos en el ecosistema acuático [17]; al mismo tiempo, ya hay evidencias de la aceptación del ICA-NSF en la evaluación de la calidad del agua en ríos tropicales, en relación con sus normativas [18]. En el caso específico de Parque Nacional Río Dulce, puede tener explicación en dos líneas de pensamiento: la geología e hidrología del Río Dulce y las interacciones socioeconómicas y ambientales de la región del caribe guatemalteco.

Respecto a la primera línea de pensamiento, el Río Cahabón es el principal tributario del Río Polochic, el cual, a su vez, es el principal afluente del lago de Izabal, que drena por completo al Río Dulce y conecta directamente con el Golfo de Honduras en el Mar Caribe, (Figura 1). El tiempo durante el cual el agua fluye a lo largo de la subcuenca del lago de Izabal y Río Dulce es relativamente corto, sugiriendo un tiempo de residencia del agua en el lago de seis (06) meses [19], por lo que existe una alta dinámica del ecosistema acuático del Lago de Izabal y Río Dulce, a través de un flujo renovador de parámetros fisicoquímicos y biológicos, materia orgánica, oxígeno disuelto, etc., en función de covariables ecosistémicas propias del caribe guatemalteco [20].

Respecto a la segunda línea de pensamiento, el Río Dulce está ubicado dentro del área protegida Parque Nacional Río Dulce con una extensión total de 16,590 ha, de las cuales 7,198 ha las ocupa el cuerpo de agua [7]. Para el efecto existe un marco legal metodológico que especifica su conservación y uso sustentable; entre otros, está el Reglamento de zonificación, uso y manejo del área protegida Río Dulce [21] y el Plan Maestro del Parque Nacional Río Dulce [7].

A la fecha se regula el otorgamiento de concesiones y arrendamientos, se trabaja con las comunidades establecidas antes de su declaratoria como área protegida y se forman equilibrios ambientales para preservar la salud del ecosistema Parque Nacional Río Dulce, a través de la educación (eco pedagogía) para niños y adultos, la organización social en comités, y la interacción comunitaria con diferentes instituciones, gubernamentales, no gubernamentales e inversores de buena voluntad. Por último, es importante reconocer el seguimiento a las variaciones temporales y espaciales de la salud del Lago de Izabal, a través de los trabajos realizados por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce [22][23].

Cuadro 5.

Índice parcial promedio anual de los diferentes parámetros que constituyen el ICA-NSF

Parámetro	Estaciones de muestreo											
	Castillo San Felipe	Río Rosul	Río Sejá	Brisas	Río Frío	Río Bonito	Río Chocón Machaca	Río Tatín	Río Tameja	Río Lámpara	Buena Vista	Desembocadura
OD%	91	79	82	89	78	92	67	83	89	70	90	94
E. coli	71	23	43	57	29	39	48	46	33	41	60	59
pH	80	89	85	81	90	82	86	83	88	88	80	85
DBO	96	87	71	93	85	85	78	89	62	83	89	82
T°	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
Fósforo total	80	80	78	79	80	80	77	80	79	79	79	76
Nitrato	88	86	84	91	89	88	93	94	94	88	95	95
Turbidez	92	85	68	82	81	79	70	86	67	85	89	84
TDS	81	81	81	81	76	78	72	53	79	51	48	30
ICA-NSF Promedio anual	85	74	74	82	75	78	74	77	74	73	80	79

Fuente: Elaboración propia. Clasificación: Excelente (91-100), Buena (71-90), Media (51-70), Mala (26-50), Muy mala (0-25).

Cuadro 6
Índice de Calidad del agua ICANSF de las microcuencas que drenan al Río Dulce

No.	Estaciones de muestreo	23/03/2021	13/05/2021	20/07/2021	08/09/2021	03/11/2021	12/01/2022	ICA-NSF Promedio anual
1	Castillo San Felipe	81	85	81	93	83	86	85
2	Río Rosul	71	83	63	75	80	74	74
3	Río Sejá	81	83	51	80	86	63	74
4	Brisas	87	84	68	85	87	78	82
5	Río Frío	74	73	70	78	80	73	75
6	Río Bonito	78	77	71	77	86	77	78
7	Río Chocón Machaca	78	76	56	90	82	59	74
8	Río Tatín	71	80	68	82	84	78	77
9	Río Tameja	76	83	71	84	70	60	74
10	Río Lámpara	71	75	62	83	78	70	73
11	Buena Vista	70	81	80	85	83	81	80
12	Desembocadura	79	79	75	82	78	78	79
ICA-NSF promedio por muestreo		76	80	68	83	81	73	77

Fuente: Elaboración propia. Clasificación: Excelente (91-100), Buena (71-90), Media (51-70), Mala (26-50), Muy mala (0-25).

Conclusiones

La calidad del agua es función de los índices totales y parciales; en este último caso, los valores críticos son aportados por E. coli y sólidos totales disueltos.

La cualificación del agua según el índice de calidad del agua ICA-NSF de marzo 2021 a enero 2022 indica que el 81% de las estaciones de muestreo presenta calidad buena, el 18% media y el 1% excelente.

La calidad del agua no es apta para el consumo humano de forma directa, haciéndose necesario un proceso de potabilización.

El Parque Nacional Río Dulce es un área protegida importante para Guatemala, cuyo estado de salud no percibe mejoras, a no ser que se implementen leyes ambientales para su manejo sustentable, tal el caso del Acuerdo Gubernativo 236-2006 sobre el vertido de aguas residuales y manejo de lodos.

Recomendaciones

La implementación de un sistema de monitoreo en los afluentes de descargas de aguas residuales, para evaluar la contaminación y estado de resiliencia del río en función de los usos actuales y potenciales de la tierra.

El establecimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales y la recuperación de áreas con vocación forestal, para la mejora de la calidad del agua del río.

El fomento de programas de educación ambiental dirigidos a las poblaciones con influencia directa en el Parque Nacional Río Dulce, con el fin de promover su conservación.

Agradecimiento

Sincero agradecimiento a la Universidad de San Carlos de Guatemala y a los estudiantes de la Maestría en Desarrollo Rural y Cambio Climático del Centro Universitario de Izabal, por ser parte del equipo de investigación y desarrollo de trabajos de campo.

Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud-OMS. “Ecosistemas y bienestar humano: síntesis de salud.” Un informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2005.
- [2] International Lake Environment Committee Foundation-ILEC. Implementing the world lake vision for the sustainable use of lake and reservoirs. World lake vision action report. 2007.
- [3] P. Torres, et al. “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una Revisión Crítica.”. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 8, no. 15, pp. 79–94. 2009.
- [4] M. Basterrechea, & A. Guerra. “Recursos hídricos”. En Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. Editorial Universitaria UVG, 2019, pp. 86–107.
- [5] M. R. Aguirre Córdón, et al., “Evaluación Del Estado Trófico Del Lago de Izabal, Guatemala.” Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias., vol. 25, no. 1, pp. 28–31, 2016.
- [6] M. R. Aguirre Córdón, et al., “Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA).” Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias., vol. 25, no. 2, pp. 39-43, 2016.
- [7] Consejo Nacional de áreas protegidas- CONAP. “Plan Maestro Parque Nacional Río Dulce, Segunda Actualización.” Consejo Nacional de Areas Protegidas -CONAP-, 2019. Izabal, Guatemala. GT.
- [8] L. I. Pérez, et al., “Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia” Información tecnológica., vol.29, no. 3, pp. 47-58. 2018. doi.org/10.4067/S0718-07642018000300047
- [9] A. D. Studian, et al., “Development of river water quality indices-a review”. Environmental Monitoring and Assessment., vol 188, no. 58, 2016. doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0
- [10] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA. “Determinación de la Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra a Escala 1:50,000 de la República de Guatemala, Año 2,020.” Memoria técnica, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA., 2021.
- [11] Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas de ANACAFE -ANALAB. Informe de análisis de agua. Asociación Nacional del Café. ANACAFE, Guatemala. 2022.
- [12] B. Oram. (2022, mayo 22). Water Quality Index Calculator for Surface Water. Water Research Center: Monitoring the Quality of Surfacewaters, [en línea]. Disponible en: <https://www.knowyourh2o.com/outdoor-3/water-quality-index-calculator-for-surface-water>.
- [13] L. S. Quiroz Fernández, et al. “Aplicación del índice de Calidad de Agua en el río Portoviejo, Ecuador.” Ingeniería Hidráulica y Ambiental., vol. 38, no. 3, pp. 41–51. 2017.
- [14] Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUHME. “Precipitación promedio mensual de la estación las Vegas, Livingston, Izabal”: Serie histórica años 2010 a 2020. 2022. Guatemala, GT.
- [15] F. G. Nordlie, “Final report to the Organization for Tropical Studies,” Inc., University of Florida. 1970.
- [16] Presidencia de la República. “Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y Disposición de lodos.” Acuerdo Gubernativo Número 236-2006. Guatemala.
- [17] M. Castro, et al. “Indicadores De La Calidad Del Agua: Evolución y Tendencias a Nivel Global.” Ingeniería Solidaria. vol 10, no. 17, pp. 111–24. 2014. doi:10.16925/in.v9i17.811.
- [18] J. García-González, et al. “Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de Los Tsáchilas, Ecuador.” Ingeniería del agua., vol. 26, no. 1, pp. 115–26. 2022. doi:10.4995/Ia.2021.13921.

- [19] M.M. Brinson, & G. Nordlie, "Lake Izabal, Guatemala. Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische Undhangelwandre." *Limnology*, vol. 19, pp. 1468 -1479. 1975.
- [20] H. K. Brooks, "A preliminary report on Lake Izabal Geology-Hydrology". A report to the Organization for Tropical Studies, Inc., University of Florida. 1970.
- [21] Presidencia de la República. "Reglamento de zonificación, uso y manejo del área protegida Río Dulce." Acuerdo Gubernativo Número 182-1993. Guatemala.
- [22] Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce, Fundación Defensores de la Naturaleza & The Natural Conservancy. "Agenda de Conservación de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce". Guatemala: MARN. 2006.
- [23] J. Robledo, et al. "La calidad del agua del Lago de Izabal, Guatemala. Relaciones temporales y espaciales de variables físico-químicas y biológicas." *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 23, no. 4, pp. 28–32. 2014.